

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

⑥

(11)Publication number : 2001-036165

(43)Date of publication of application : 09.02.2001

(51)Int.Cl.

H01L 43/08

(21)Application number : 11-208442

(71)Applicant : TDK CORP

(22)Date of filing : 23.07.1999

(72)Inventor : ARAKI SATORU

SHIMAZAWA KOJI

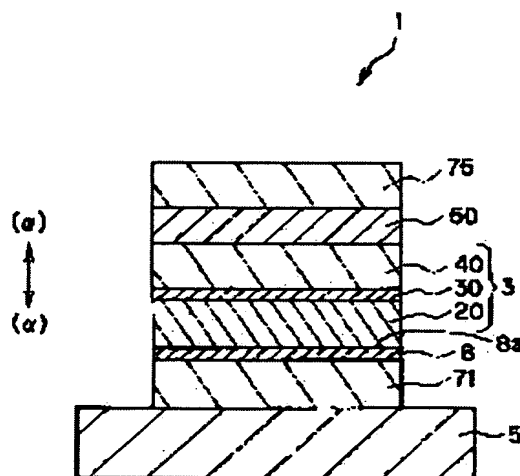
MORITA HARUYUKI

(54) TUNNEL MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide specification of a tunnel magnetoresistance effect element which can obtain satisfactory characteristics of a tunnel magnetoresistance effect element, in particular, a large head output.

SOLUTION: This tunnel magnetoresistance effect element 1 has a tunnel multilayer film 3 on a base layer 8. The tunnel multilayer film 3 has a tunnel barrier layer 30, a ferromagnetic free layer 20 and a ferromagnetic pinned layer 40 which sandwich the tunnel barrier layer 30. The base layer 8 is so constituted, that three indexes indicating the state of surface roughness of the base layer 8 on the tunnel multilayer film 3 side have specified values, that is, center line average roughness Ra is at most 0.5 nm, maximum height Rmax is at most 5 nm, and standard deviation roughness Rrms is at most 0.55 nm.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.04.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3321768

[Date of registration]

28.06.2002

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the tunnel magneto-resistive effect component which has a tunnel multilayer on a substrate layer. Said tunnel multilayer It has a tunnel barrier layer, and the ferromagnetic free layer and strong magnetic pinned layer which were formed as whose tunnel barrier layer was pinched. Said substrate layer The tunnel magneto-resistive effect component to which arithmetical-mean-deviation-of-profile Ra which is three indexes which show the condition of the surface roughness in the front face of the substrate layer by the side of a tunnel multilayer is characterized by 0.5nm or less and maximum height Rmax being [5nm or less and standard deviation granularity Rrms] 0.55nm or less.

[Claim 2] The tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 0.01-5nm and whose standard deviation granularity Rrms 0.001-0.5nm and maximum height Rmax are 0.001-0.55nm for arithmetical-mean-deviation-of-profile Ra which is three indexes which show the condition of the surface roughness of said tunnel barrier layer front face.

[Claim 3] The front face of the substrate layer by the side of said tunnel multilayer is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 or 2 which comes to carry out data smoothing by the gas ionized cluster beam method.

[Claim 4] The tunnel magneto-resistive effect component according to claim 3 whose gas used for said gas ionized cluster beam method is an argon, neon, a xenon, a krypton, helium, hydrogen, and these mixed gas.

[Claim 5] Data smoothing in said gas ionized cluster beam method is 1015-1017 at acceleration voltage 10-20keV. Tunnel magneto-resistive effect component according to claim 4 performed with the dose of Dose.

[Claim 6] The tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 5 said whose substrate layers are W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, and Pt.

[Claim 7] Said tunnel magneto-resistive effect component is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 6 which has the gestalt which comes to have a pinning layer for carrying out pinning of the magnetization of a ferromagnetic free layer, a tunnel barrier layer, a strong magnetic pinned layer, and a strong magnetic pinned layer on a substrate layer one by one.

[Claim 8] Said tunnel magneto-resistive effect component is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 6 which has the gestalt which comes to have the pinning layer for carrying out pinning of the magnetization of a strong magnetic pinned layer, a strong magnetic pinned layer, a tunnel barrier layer, and a ferromagnetic free layer on a substrate layer one by one.

[Claim 9] Said ferromagnetic free layer is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 8 with which a bias field is impressed to the longitudinal direction of a ferromagnetic free layer by the bias grant means arranged to the longitudinal direction both ends, respectively.

[Claim 10] Said ferromagnetic free layer is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 9 which is a synthetic ferry magnet (synthetic ferrimagnet).

[Claim 11] Said strong magnetic pinned layer is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 10 which is a synthetic ferry magnet (synthetic ferrimagnet).

[Claim 12] Said tunnel multilayer is a tunnel magneto-resistive effect component according to claim 1 to 11 which it comes to join to the electrode and the electric target of the couple by which opposite arrangement was carried out so that the tunnel multilayer concerned might be inserted.

[Claim 13] The tunnel magneto-resistive effect component according to claim 12 which comes to have the shielding layer of the couple by which opposite arrangement was carried out so that the electrode of said couple might be inserted.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

[0002] This invention relates to a tunnel magneto-resistive effect component. A ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect component is a component which can read a small magnetic field change as a big electric resistance changing signal especially among the magneto-resistive effect film for reading the magnetic field strength of a magnetic-recording medium etc. as a signal, and this thing is mainly used, being included in hard disk drive equipment.

[0003]

[Description of the Prior Art] In connection with the densification of a hard disk (HDD), the magnetic head of high sensitivity and high power has been required. The tunnel magneto-resistive effect component using the ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect which consists of multilayer structure of a ferromagnetic layer / tunnel barrier layer / ferromagnetic layer attracts attention to such a demand.

[0004] A ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect means the phenomenon in which the tunnel current which flows a tunnel barrier layer depending on whenever [angular relation / of the mutual magnetization between both ferromagnetic layers] changes, when passing a current in the direction of a laminating between the ferromagnetic layers of the couple whose tunnel barrier layer is pinched.

[0005] The tunnel barrier layer in this case is a thin insulator layer, and it can pass an electron, saving spin according to a tunnel magneto-resistive effect. Generally a tunnel barrier layer is formed by oxidizing metals, such as thin aluminum around 10Å.

[0006] Since a tunnel probability will become high if whenever [angular relation / of the mutual magnetization between both the ferromagnetism layers formed through a tunnel barrier layer] is small, the resistance of a current which flows among both becomes small. With this, since a tunnel probability will become low if whenever [angular relation / of the mutual magnetization conversely between both ferromagnetism layers] is large, the resistance of a current which flows among both becomes large.

[0007] By the way, when the application to the head for HDD of a TMR component is considered, the reduction in resistance of a component (lower resistance) is indispensable. The reason is as follows. That is, fundamentally, resistance of a TMR component is expressed with the following type (1).

[0008]

$R_{\text{sigma}} = C_{\text{sigma}} \exp(2 \kappa d)$ Formula (1)

[0009] $\kappa = (2m\phi/\hbar^2)^{1/2}$ [0010] Here, d is the thickness of an obstruction (barrier layer), and the height of the obstruction potential which measured ϕ from Fermi level. C_{sigma} is an amount decided by the electronic state of a magnetic layer and an insulating layer, and may think that it is proportional to the product of the Fermi level of two magnetic layers in approximation.

[0011] When the above-mentioned formula (1) is followed, in order to attain low resistance-ization of a component, it turns out that what is necessary is just to make thickness d of an obstruction (barrier layer) small. By making component resistance small, it is because it becomes possible to become possible to pass a big current, consequently to take out big output voltage. Moreover, it is

desirable also from the viewpoint of electrostatic-discharge (Electro-Static Discharges) prevention for a component to be low resistance.

[0012] However, the more it is going to make thickness d of an obstruction (barrier layer) small, the more a barrier layer surface state is considered that very good smooth nature is required. Although thickness is thin, when smooth nature is scarce, there is a possibility that it may become easy to generate a pinhole in some obstructions (barrier layer), and current leak may arise from a pinhole part. When current leak arises, high power is no longer obtained. When extent of the current leak is still larger, an output may not no longer be obtained at all.

[0013] As one of the technique of smoothing of an obstruction (barrier layer), before forming an obstruction (barrier layer), it is possible to plan data smoothing of the layer which exists caudad. However, the actual condition is the smooth nature to severalangstrom order not being expectable, and not conventionally, connected with improvement in a property of a component directly by the polish approach using the polish liquid in which an alumina abrasive grain and colloidal silica were included as an abrasive grain which is a well-known flattening technique. Furthermore, it is [a problem of the corrosion of an electrode or a pinning layer (antiferromagnetism layer)] and is not desirable.

[0014]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] This invention is originated by the thing of such the actual condition, and the object is in offering a property with a good tunnel magneto-resistive effect component, and the tunnel magneto-resistive effect component where TMR rate of change is large especially, and improvement in a head output is achieved.

[0015]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, this invention is a tunnel magneto-resistive effect component which has a tunnel multilayer on a substrate layer. Said tunnel multilayer It has a tunnel barrier layer, and the ferromagnetic free layer and strong magnetic pinned layer which were formed as whose tunnel barrier layer was pinched. Said substrate layer Arithmetical-mean-deviation-of-profile R_a which is three indexes which show the condition of the surface roughness in the front face of the substrate layer by the side of a tunnel multilayer is constituted so that 5nm or less and standard deviation granularity R_{rms} may be set to 0.55nm or less by 0.5nm or less and maximum height R_{max} .

[0016] Moreover, arithmetical-mean-deviation-of-profile R_a which is three indexes which show the condition of the surface roughness of said tunnel barrier layer front face as a desirable mode of this invention is constituted so that 0.01-5nm and standard deviation granularity R_{rms} may be set to 0.001-0.55nm by 0.001-0.5nm and maximum height R_{max} .

[0017] Moreover, as a desirable mode of this invention, the front face of the substrate layer by the side of said tunnel multilayer is constituted so that data smoothing may be carried out and it may become by the gas ionized cluster beam method.

[0018] Moreover, as a desirable mode of this invention, the gas used for said gas ionized cluster beam method is constituted so that it may be an argon, neon, a xenon, a krypton, helium, hydrogen, and these mixed gas.

[0019] Moreover, data smoothing in said gas ionized cluster beam method is 1015-1017 at acceleration voltage 10-20keV as a desirable mode of this invention. It is constituted so that it may be carried out with the dose of Dose.

[0020] Moreover, as a desirable mode of this invention, said substrate layer is constituted so that it may be W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, and Pt.

[0021] Moreover, as a desirable mode of this invention, said tunnel magneto-resistive effect component is constituted so that it may have the gestalt which comes to have a pinning layer for carrying out pinning of the magnetization of a ferromagnetic free layer, a tunnel barrier layer, a strong magnetic pinned layer, and a strong magnetic pinned layer on a substrate layer one by one.

[0022] Moreover, as a desirable mode of this invention, said tunnel magneto-resistive effect component is constituted so that it may have the gestalt which comes to have the pinning layer for carrying out pinning of the magnetization of a strong magnetic pinned layer, a strong magnetic pinned layer, a tunnel barrier layer, and a ferromagnetic free layer on a substrate layer one by one.

[0023] Moreover, as a desirable mode of this invention, said ferromagnetic free layer is constituted

by the bias grant means arranged to the longitudinal direction both ends, respectively so that a bias field may be impressed to the longitudinal direction of a ferromagnetic free layer.

[0024] Moreover, as a desirable mode of this invention, said ferromagnetic free layer is constituted so that it may be a synthetic ferrimagnet (synthetic ferrimagnet).

[0025] Moreover, as a desirable mode of this invention, said strong magnetic pinned layer is constituted so that it may be a synthetic ferrimagnet (synthetic ferrimagnet).

[0026] Moreover, as a desirable mode of this invention, said tunnel multilayer is constituted so that it may be joined to the electrode and the electric target of the couple by which opposite arrangement was carried out so that the tunnel multilayer concerned might be inserted and may become.

[0027] Moreover, it is constituted so that it may have the shielding layer of the couple by which opposite arrangement was carried out as a desirable mode of this invention so that the electrode of said couple might be inserted and may become.

[0028]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the tunnel magneto-resistive effect component 1 (a "TMR component" is only called hereafter) of this invention is explained to a detail.

[0029] Drawing 1 is the sectional view showing a suitable example of the TMR component 1 of this invention. The TMR component 1 is equipped with the tunnel multilayer 3 which shows a spin tunnel magneto-resistive effect in the gestalt of this operation. That is, the tunnel multilayer 3 has the multilayer structure where the laminating of the tunnel barrier layer 30, the ferromagnetic layer free layer 20 formed as whose tunnel barrier layer 30 was pinched, and the ferromagnetic layer pinned layer 40 was carried out.

[0030] In the structure of such a tunnel multilayer 3, in the direction of the exterior of said ferromagnetic free layer 20 and strong magnetic pinned layer 40, a laminating is carried out further directly [the electrode 71 and electrode 75 of a couple for passing a current in the thickness direction (α) (direction) of the tunnel multilayer 3], or respectively indirectly, and the electrode 71 of the tunnel multilayer 3 and a couple and an electrode 75 are connected electrically.

[0031] Said ferromagnetic free layer 20 functions as the so-called free layer into which the external magnetic field which is magnetic information is answered, and the sense of magnetization is changed freely. Moreover, said strong magnetic pinned layer 40 functions as the magnetization fixed bed by which the sense of magnetization of the ferromagnetic layer 40 concerned was fixed in the fixed direction. The pinning layer 50 for fixing magnetization of the ferromagnetic layer 40 (switched connection being carried out) is formed where the ferromagnetic layer 40 is touched.

[0032] Furthermore, with the gestalt of operation of drawing 1 , the substrate layer 8 intervenes between the electrodes 71 and the ferromagnetic free layers 20 which are located in the drawing bottom. That is, with the gestalt of operation shown in drawing 1 , the gestalt by which sequential formation of an electrode 71, the substrate layer 8, the ferromagnetic free layer 20, the tunnel barrier layer 30, a strong magnetic pinned layer 40, the pinning layer 50, and the electrode 75 was carried out is taken on the substrate 5.

[0033] The 1st description in this invention is in setting out of the surface roughness of said substrate layer 8. That is, in surface 8a of the side near the tunnel multilayer 3 of the substrate layer 8, (1) arithmetical-mean-deviation-of-profile R_a which is three indexes which show the condition of surface roughness, (2) maximum-height R_{max} , and (3) standard-deviation granularity R_{rms} are set up, respectively so that the following conditions may be fulfilled. namely, -- if it says about (1) arithmetical-mean-deviation-of-profile R_a -- R_a value -- 0.5nm or less -- especially -- 0.001-0.3nm 0.001-0.5nm is more preferably set to 0.001-0.2nm still more preferably. Although it is desirable to bring close to zero as much as possible as for the lower limit of this R_a value, a lower limit will be set to about 0.001nm if the profitability which the skill level of current smoothing and smoothing take is taken into consideration. Arithmetical-mean-deviation-of-profile R_a is JIS. B It defines as 0601. More, when the part of measurement die-length L is sampled in the direction of that center line from a surface roughness curve in a detail, a Y-axis is set as the direction of the X-axis and longitudinal magnification for the center line of this sampling part and a roughness curve is expressed with $y=f(x)$, it is the value calculated by the following formula (1).

[0034]

[Formula 1]

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad \dots \quad \text{式 (1)}$$

[0035] (2) if it says about maximum height Rmax -- a Rmax value -- 5nm or less -- especially -- 0.01-3nm 0.01-5nm is more preferably set to 0.01-2nm still more preferably. Although it is desirable to bring close to zero as much as possible as for the lower limit of this Rmax value, a lower limit will be set to about 0.01nm if the profitability which the skill level of current smoothing and smoothing take is taken into consideration. Maximum height Rmax is JIS. B It defines as 0601. It is expressed more with the difference of the peak price to the center line of a cross-section configuration, and the minimum value to a detail.

[0036] (3) if it says about standard deviation granularity Rrms -- a Rrms value -- 0.55nm or less -- especially -- 0.001-0.35nm 0.001-0.55 micrometers are more preferably set to 0.001-0.2nm still more preferably. Although it is desirable to bring close to zero as much as possible as for the lower limit of this Rrms value, a lower limit will be set to about 0.001nm if the profitability which the skill level of current smoothing and smoothing take is taken into consideration. More, standard-deviation granularity Rrms is the standard deviation of Z value of all data, and is expressed with the following type (2) to a detail. Z value expresses the difference of the peak price to a center line, and the minimum value.

[0037]

[Formula 2]

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_{ave})^2}{N}} \quad \dots \quad \text{式 (2)}$$

[0038] Among a formula (2), the point size of data and Zi express Z value (difference of a peak price [as opposed to a center line in Z value], and the minimum value) of each data point, and, as for Zave, N expresses the average of all Z values.

[0039] if Ra value of the front face of the above-mentioned substrate layer 8 exceeds 0.5nm, a Rmax value exceeds 5nm or a Rrms value exceeds 0.55nm in this invention -- the joint of a tunnel barrier layer -- ** -- electric leakage current -- being generated -- being easy -- consequently, while substantial TMR rate of change decreases greatly, a head output will decrease greatly. A Rmax value is important especially of the three parameters. Even if the magnitude of a actual component is dramatically small, there is also a case where measurement die length cannot fully be taken and it is such a case, a Rmax value is because it is the value which is expressing most appropriately the difference of the irregularity of the front face which affects a property directly.

[0040] Data smoothing of such surface 8a of the substrate layer 8 is carried out by the gas ionized cluster beam method. It is the approach of carrying out incidence to the gas ionized cluster beam method on the wafer which should ionize 103-106 gas clusters produced by adiabatic expansion by blowing off to the chamber which decompressed the gas which pressurized about 1-5kg to 10⁻⁴ - 10⁻¹Torr extent, should accelerate on a predetermined electrical potential difference with an accelerating electrode, and should process the quantity (the amount of DOSU) (105-108) of a predetermined gas cluster. At this time, by the collision with a cluster and the irregularity on a substrate, the situation of being deleted by protruding heights arises and the effectiveness of flattening processing is acquired as a result.

[0041] As gas used by the gas ionized cluster beam method, an argon, a xenon, a krypton, neon, hydrogen, helium, these mixed gas, etc. are mentioned. Especially, it is good to use an argon, a krypton, and a xenon from a viewpoint of profitability.

[0042] Moreover, especially the acceleration voltage that serves as driving force for making a cluster collide with the front face of the substrate layer 8 as an operating condition in the gas ionized cluster beam method has desirable 12-18keV ten to 20 keV. As for the total dose (the amount of dose(s)), 1015-1017, especially 1015-1016 are desirable.

[0043] Thin film formation of the substrate layer 8 in this invention is carried out from ingredients, such as W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Pt, Pd, Au, Ag, and Cu, and the thickness is set as about 50-800Å.

[0044] In addition, by the polish approach using the polish liquid in which an alumina abrasive grain

and colloidal silica were included as an abrasive grain which is a well-known flattening technique, the surface state of the substrate layer of this invention within the limits cannot be formed conventionally.

[0045] The construction material which constitutes said ferromagnetic free layer 20 and strong magnetic pinned layer 40 has a desirable high spin polarization ingredient so that high TMR variation may be obtained, for example, Fe, Co, nickel, FeCo, NiFe, CoZrNb, FeCoNi, etc. are used. Moreover, 20-200Å of thickness of the ferromagnetic free layer 20 which functions as the so-called free layer is preferably made into 40-100Å. If there is an inclination for the output at the time of head actuation to decline if thickness becomes thick too much and thickness becomes thin too much, magnetic properties will become unstable and the inconvenience that the noise at the time of head actuation increases will arise. Moreover, 10-50Å of thickness of the strong magnetic pinned layer 40 which functions as the so-called magnetization fixed bed (strong magnetic pinned layer) is preferably made into 20-30Å. If pinning of the magnetization by the antiferromagnetic substance which will be later mentioned if thickness becomes thick too much becomes weaker and thickness becomes thin too much, the inclination for TMR rate of change to decrease will arise.

[0046] Such the ferromagnetic free layer 20 and a strong magnetic pinned layer 40 are one of the modes also with the especially desirable layered product which consists of combination of the magnetic layer of the couple which is not limited to a monolayer and is carrying out antiferromagnetism mold magnetic connection, and the non-magnetic metal layer pinched between them. As such a layered product, the ferromagnetic layer which consists of a three-layer layered product of CoFe (30Å in thickness) / Ru (7Å in thickness) / CoFe (20Å in thickness) is mentioned, for example.

[0047] A ferromagnetic free layer is very better still in multilayer structure, such as NiFe/CoFe.

[0048] The tunnel barrier layer 30 two ferromagnetic layers' 20 and 40 pinched consists of aluminum 2O₃, NiO, GdO, MgO and Ta 2O₅, MoO₂ and TiO₂, and WO₂ grade. Although it is desirable that it is thin as much as possible for the reduction in resistance of a component, it is too thin not much, and leakage current will drop off and the thickness of the tunnel barrier layer 30 is not desirable, if a pinhole is generated. Generally, it may be about 5-20Å.

[0049] Moreover, in this invention, although the pinning layer 50 which carries out pinning of the magnetization of said strong magnetic pinned layer 40 will not be especially limited if the pinning function is achieved, an antiferromagnetism ingredient is usually used. Thickness is usually made into about 60-300Å.

[0050] As electrodes 71 and 75, conductor ingredients, such as W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Pt, Pd, Au, Ag, and Cu, are used. The shielding layer which consists of a permalloy etc., respectively (MAG) may be prepared in the outside ends of electrodes 71 and 75. Moreover, although, as for the operation gestalt shown in drawing 1, the pinning layer 50 has illustrated the type located in the top, of course, the pinning layer 50 may be the type located in a bottom product. Although this bottom product type of laminating condition is not illustrated, the gestalt which has an electrode 71, the substrate layer 8, the pinning layer 50, a strong magnetic pinned layer 40, the tunnel barrier layer 30, the ferromagnetic free layer 20, and an electrode 75 one by one on a substrate 5 will be taken.

[0051] The modification of drawing 1 is shown in drawing 2. In drawing 2, on the pinning layer 50, the gap layer 101 and the gap layer 105 are formed the bottom of the substrate layer 8, respectively, and the electrode-shielding combination layers (common lead and shield layer) 91 and 95 are formed in way ends outside these. The electrode-shielding combination layers (common lead and shield layer) 91 and 95 consist of NiFe (permalloy), Sendust, CoFe, CoFeNi, etc. The gap layer 101, 105 consists of Cu, aluminum, Au, Ta, Rh, Cr, In, Ir, Mg, Ru, W, Zn, or an alloy with these. Especially a gap layer achieves the function of adjustment of the distance between shielding-shielding, and adjustment of a TMR multilayer location.

[0052] The operation gestalt into which the tunnel magneto-resistive effect component of such this invention was developed as a suitable example of the tunnel magneto-resistive effect mold head 2 ("the TMR head 2" is only called hereafter) is shown in drawing 3. The TMR head 2 is also contained in the concept of the tunnel magneto-resistive effect component as used in the field of this invention, and is contained in the technical range of the claim of this invention.

[0053] Drawing 3 is the sectional view showing a suitable example of the TMR head 2 of this

invention. This sectional view is equivalent to the field arranged so that it may counter substantially with the magnetic-recording medium which emits the external magnetic field which is magnetic information. This field is called the so-called ABS (Air Bearing Surface).

[0054] The TMR head 2 is equipped with the tunnel multilayer 3 which shows a spin tunnel magneto-resistive effect in the gestalt of this operation. That is, the tunnel multilayer 3 has the multilayer structure where the laminating of the tunnel barrier layer 30, the ferromagnetic free layer 20 formed as whose tunnel barrier layer 30 was pinched, and the strong magnetic pinned layer 40 was carried out. As mentioned above, the ferromagnetic free layer 20 acts so that the external magnetic field which is magnetic information fundamentally may be answered and the sense of magnetization may be changed into freedom (free). Moreover, pinning of the whole of the magnetization direction is carried out so that a strong magnetic pinned layer 40 may turn to the fixed direction (the direction of the magnetization by which pinning is carried out in the case of drawing 3 is the depth direction of space). Therefore, the laminating of the pinning layer 50 for usually carrying out pinning of the magnetization of a strong magnetic pinned layer 40, as shown in drawing 3 is carried out to a reverse field the side which touches the tunnel barrier layer 30 of said strong magnetic pinned layer 40.

[0055] In the operation gestalt shown in drawing 3, the electrode-shielding combination layers (common lead and shield layer) 91 and 95 which achieve the electrode of a ***** sake and the function of both magnetic shielding are electrically joined to the tunnel multilayer 3 by the both sides of the direction of a laminating of said tunnel multilayer 3 in the sense current, respectively (electrical contact). By using the electrode-shielding combination layers (common lead and shield layer) 91 and 95, as mentioned above, it can reduce substantially and a lead gap can prevent the flow of an uneven current in a tunnel multilayer further.

[0056] A sense current flows in the direction of a laminating of the tunnel multilayer 3 which the current for sense is passed by such electrode-shielding combination layers (common lead and shield layer) 91 and 95, and is electrically joined to them by these layers 91 and 95.

[0057] Such electrode-shielding combination layers 91 and 95 may be formed so that the tunnel multilayer 3 may be contacted directly, or you may make it join electrically the electrode-shielding combination layers 91 and 95 and the tunnel multilayer 3 respectively through the gap layer 101,105 with nonmagnetic and conductivity, as shown in the gestalt of operation of drawing 3.

[0058] Said gap layer 101,105 achieves especially the function of adjustment of the distance between shielding-shielding, and adjustment of a TMR multilayer location, and the function to prevent that tunnel current becomes an ununiformity, as mentioned above. these -- usually -- like a graphic display -- much more -- since -- although being formed is desirable, it can also consider as the layered product of two or more construction material selected from the above-mentioned construction material. Thickness of such a gap layer 101,105 is made into about 50-700Å.

[0059] The tunnel multilayer 3 in this invention is formed through the substrate layer 8. It cannot be overemphasized that the surface roughness of surface 8a of the substrate layer 8 is set up within limits mentioned above. Furthermore, as for the tunnel multilayer 3 in this invention, it is desirable to be constituted based on a specification as shown in drawing 3. That is, a bias field (for example, the direction of an arrow head (α 1)) is impressed to the longitudinal direction of a ferromagnetic free layer by the bias grant means 61 and 61 by which the laminating was carried out to the longitudinal direction (longitudinal direction of space) both ends, respectively, and connecting arrangement was carried out to them as the ferromagnetic free layer 20 which constitutes a part of tunnel multilayer 3 was shown in drawing 3.

[0060] The die length L_f of the longitudinal direction (it is substantially [as the bias field impression direction] the same) of the ferromagnetic free layer 20 concerned is set up more greatly than the longitudinal direction die length L_p of said strong magnetic pinned layer 40. The ferromagnetic free layer 20 is arranged so that at least the extension further extended to the both ends rather than the longitudinal direction both-ends location (displayed by the outgoing line of Line h) of a strong magnetic pinned layer 40 may be equipped with 20a only for a part with the die length L_f longer than the die length L_p of a strong magnetic pinned layer 40, respectively and may become. That die length was displayed by L_f and 20a occupies a part of ferromagnetic free layer 20 at least for this extension. That is, 20a is as synonymous with the flash die-length part from strong magnetic pinned

layer 40 edge as an extension.

[0061] The die length L_f of the longitudinal direction of the ferromagnetic free layer 20 is set to about 0.5-20 micrometers. Moreover, as for the die length L_{fe} of 20a, at least the extension of the strong magnetic pinned layer 40 specified with relation with the longitudinal direction die length L_p of a strong magnetic pinned layer 40 is set to about 0.1-5 micrometers.

[0062] The bias grant means 61 and 61 are connected to 21 at least for the extension of the ends of such a ferromagnetic free layer 20 in the state of a laminating. As for the part by which the laminating was carried out, switched connection only of the extension is carried out to 20a, and the bias grant means 61 and 61 fix the magnetization direction in the direction of an arrow head (α 1). From the longitudinal direction both ends of said strong magnetic pinned layer 40, the respectively fixed tooth space D is secured and the bias grant means 61 and 61 are formed, respectively, as shown in drawing 3.

[0063] In case such a fixed tooth space D determines the design specification of a head, in order to make it not reduce a TMR rate-of-change property substantially, setting to the predetermined range is desirable. As for a concrete numeric value, it is desirable the construction material of a head specification, for example, the configuration member to be used, and to set up suitably by dimension setting out etc. If the numeric value especially found out experimentally as a more desirable mode is mentioned, as for said especially fixed tooth space D, it will be desirable to consider as the range 0.02 micrometers or more of 0.3 micrometers or less, and the 0.02 more micrometer or more range of less than 0.15 micrometers 0.02 micrometers or more. When the value of this D is set to less than 0.02 micrometers, it is in the inclination for TMR rate of change to fall. If this D value becomes large too much and exceeds 0.3 micrometers on the other hand, the inclination which the effective width of recording track spreads and stops agreeing in the future demand to a raise in recording density will arise. When the effective width of recording track is especially taken into consideration preponderantly, as for a D value, it is desirable to consider as the 0.02-micrometer or more range of less than 0.15 micrometers (for 0.15 micrometers not to be included).

[0064] If it explains briefly focusing on the member which is not constituting especially mentioning above the TMR head 2 whole illustrated by drawing 3, in the gestalt of this operation, the insulating layer 111,111 and insulating layer 112,112 which consist of an alumina will be formed in the method of an ends outside of a TMR multilayer like a graphic display. Thereby, an insulation of the bias grant means 61 and 61 and the tunnel barrier layer 30 etc. is ensured.

[0065] The ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect is explained briefly. A ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect means the phenomenon in which the tunnel current which flows a tunnel barrier layer depending on whenever [ferromagnetic layer / both / 20 and angular relation / of the mutual magnetization between 40] changes, when passing a current in the ferromagnetic layer 20 of the couple whose tunnel barrier layer 30 is pinched, and the direction of a laminating between 40. The tunnel barrier layer 30 in this case is a thin insulator layer, and it can pass an electron, saving spin according to a tunnel magneto-resistive effect. Since an electronic tunnel probability becomes high when the mutual magnetization between both the ferromagnetism layer 20 and 40 is parallel (or when whenever [angular relation / of mutual magnetization] is small), the resistance of a current which flows among both becomes small. Since an electronic tunnel probability becomes low when the mutual magnetization between both the ferromagnetism layer 20 and 40 of this conversely is anti-parallel (or when whenever [angular relation / of mutual magnetization] is large), the resistance of a current which flows among both becomes large. Detection actuation of an external magnetic field is performed using the resistance change based on change of whenever [angular relation / of such magnetization].

[0066]

[Example] The concrete example shown below explains further invention about the tunnel magneto-resistive effect component (TMR component) mentioned above to a detail.

[0067] ((I) The example of an experiment)

[0068] The tunnel magneto-resistive effect component sample as shown below was produced. On a substrate 5 (AlTiC with aluminum₂O₃), namely, the NiFe electrode-shielding combination layer (common lead and shield layer) 91 with a thickness of 22 micrometers, the gap layer 101 (Rh; 500Å in thickness), The substrate layer 8 (Ta; 100Å in thickness), the ferromagnetic layer 20 (layered

product of a NiFe layer (30A in thickness), and CoFe (30A in thickness)) which functions as the so-called free layers, The tunnel barrier layer 30 (aluminum oxide; 10A in thickness), the so-called ferromagnetic layer 40 (CoFe; 30A in thickness) by which the magnetization direction was fixed in the direction of a detection field and by which pinning was carried out, The pinning layer 50 (PtMn; 300A in thickness) for carrying out pinning of the magnetization of the ferromagnetic layer 40, The thin film laminating of the gap layer 105 (Rh; 200A in thickness) and the NiFe electrode-shielding combination layer (common lead and shield layer) 95 with a thickness of 50 micrometers was carried out one by one, and the sample was produced. Completed component size was made into 1micrometerx1micrometer magnitude.

[0069] In addition, on the occasion of formation of the substrate layer 8, after forming the substrate layer 8, data smoothing of the surface 8a was carried out by the gas ionized cluster beam method. The operating condition of the gas ionized cluster beam method and the surface roughness of surface 8a were variously changed, as shown in the following table 1, and they produced various samples. In addition, the film specification and membrane formation conditions of a tunnel multilayer of being located above the substrate layer 8 presupposed that it is the same with all samples.

[0070] Moreover, it faced measuring the surface roughness of surface 8a of the substrate layer 8, the sample was cut in the direction of a laminating so that a laminating condition might be known, and it measured concretely using the high-resolution transmission electron microscope (TEM) or the scanning secondary electron microscope (S-TEM). Measuring range formed the exclusive pattern for surface roughness measurement, and set it to 10micrometerx10micrometer.

[0071] In addition, the magnitude of a actual TMR component has the common thing of the magnitude of - (0.15micrometerx0.15micrometer) (1micrometerx1micrometer) extent. Also in these components, it is indispensable that Ra, Rmax, and Rrms are in claim within the limits of this invention. If measuring range generally becomes large, the amount of many of granularity tends to become large.

[0072] TMR rate of change (%) was searched for in the following way using the various TMR component samples for an experiment shown in the following table 1.

[0073] TMR rate-of-change (%) [0074] The minimum-drag value Rmin was calculated from the minimum value of the electrical potential difference when impressing a sink and the field of 900 [**] (Oe) for constant current so that the electrical potential difference impressed to a sample might be set to about 50mV by the zero field, and the maximum resistance Rmax was calculated from the maximum of an electrical potential difference, and TMR rate of change (%) was searched for from the following formulas (1).

[0075]

TMR rate-of-change (%) =(Rmax-Rmin)/Rmin x100 -- Formula (1)

[0076] The result was shown in the following table 1.

[0077]

[A table 1]

表 1

サンプル No.	γ線照射条件		下地層表面粗さ			TMR 変化率 (%)
	加速電圧 (keV)	総照射量	Ra (nm)	Rmax (nm)	Rrms (nm)	
1	10	10 ¹⁵	0.25	1.6	0.27	26.5
2	12	10 ¹⁵	0.18	1.2	0.20	30.2
3	15	10 ¹⁵	0.12	0.9	0.15	34.6
4	18	10 ¹⁵	0.17	1.5	0.19	31.4
5	20	10 ¹⁵	0.29	2.9	0.35	27.3
6	15	5×10 ¹⁵	0.08	0.8	0.10	38.9
7	15	10 ¹⁶	0.09	0.7	0.12	37.0
8	15	5×10 ¹⁶	0.13	1.2	0.16	33.6
9	12	5×10 ¹⁵	0.10	0.9	0.13	36.2
10	18	5×10 ¹⁵	0.13	1.4	0.19	33.4
11 (比較)	25	5×10 ¹⁵	0.52	4.9	0.48	16.6
12 (比較)	30	10 ¹⁵	0.49	6.5	0.30	12.1
13 (比較)	25	10 ¹⁶	0.48	4.7	0.58	15.8
14 (比較)	25	10 ¹⁷	0.69	7.9	0.46	8.2
15 (比較)	—	—	1.25	10.2	1.39	0.3

[0078] The result shown in a table 1 shows that all three parameters that show the condition of surface roughness must fill the range of this invention, in order to raise TMR rate of change.

[0079]

[Effect of the Invention] The effectiveness of this invention is clearer than the above-mentioned result. This invention is a tunnel magneto-resistive effect component which has a tunnel multilayer on a substrate layer. Namely, said tunnel multilayer It has a tunnel barrier layer, and the ferromagnetic free layer and strong magnetic pinned layer which were formed as whose tunnel barrier layer was pinched. Said substrate layer They are three indexes which show the condition of the surface roughness in the front face of the substrate layer by the side of a tunnel multilayer. Since arithmetical-mean-deviation-of-profile Ra is constituted so that 0.5nm or less and maximum height Rmax may be [5nm or less and standard deviation granularity Rrms] 0.55nm or less, TMR rate of change becomes large and a big head output is obtained.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing 1 is the sectional view showing an example with the ferromagnetic suitable tunnel magneto-resistive effect component of this invention.

[Drawing 2] Drawing 2 is the sectional view showing other suitable examples of the ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect component of this invention.

[Drawing 3] Drawing 3 is the sectional view showing an example at the time of developing the ferromagnetic tunnel magneto-resistive effect component of this invention into a tunnel magneto-resistive effect mold head.

[Description of Notations]

- 1 -- Tunnel magneto-resistive effect component
- 3 -- Tunnel multilayer
- 5 -- Substrate
- 8 -- Substrate layer
- 20 -- Ferromagnetic free layer
- 30 -- Tunnel barrier layer
- 40 -- Strong magnetic pinned layer
- 71 75 -- Electrode (layer)

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-36165
(P2001-36165A)

(43) 公開日 平成13年2月9日 (2001.2.9)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 1 L 43/08

識別記号

F I
H 0 1 L 43/08

データベース*(参考)
Z

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-208442
(22) 出願日 平成11年7月23日 (1999.7.23)

(71) 出願人 000003067
ティーディーケイ株式会社
東京都中央区日本橋1丁目13番1号
(72) 発明者 荒木 悟
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内
(72) 発明者 島沢 幸司
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内
(72) 発明者 森田 治幸
東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内
(74) 代理人 100098006
弁理士 皿田 秀夫 (外1名)

(54) 【発明の名称】 トンネル磁気抵抗効果素子

(57) 【要約】

【課題】 トンネル磁気抵抗効果素子の良好な特性、特に、大きなヘッド出力が得られるようなトンネル磁気抵抗効果素子の仕様を提案する。

【解決手段】 下地層の上にトンネル多層膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子であって、前記トンネル多層膜は、トンネルバリア層と、トンネルバリア層を挟むようにして形成された強磁性フリー層と強磁性ピン層を有し、前記下地層は、トンネル多層膜側の下地層の表面における表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さ R_a が0.5 nm以下、最大高さ R_{max} が5 nm以下、標準偏差粗さ R_{rms} が0.55 nm以下であるように構成する。

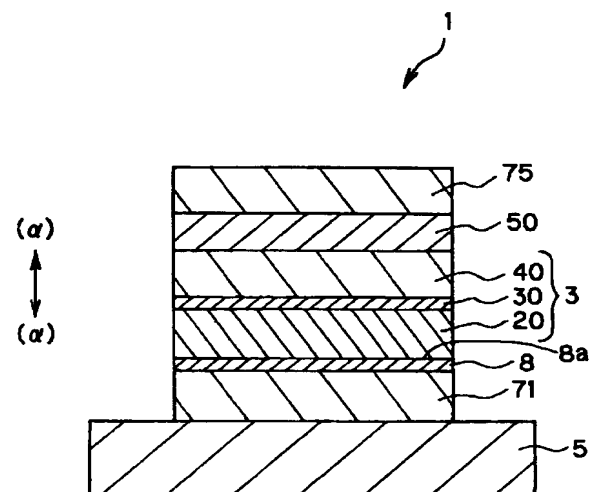


FIG.1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 下地層の上にトンネル多層膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記トンネル多層膜は、トンネルバリア層と、トンネルバリア層を挟むようにして形成された強磁性フリー層と強磁性ピン層を有し、

前記下地層は、トンネル多層膜側の下地層の表面における表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さ R_a が0.5nm以下、最大高さ R_{max} が5nm以下、標準偏差粗さ R_{rms} が0.55nm以下であることを特徴とするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記トンネルバリア層表面の表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さ R_a が0.001~0.5nm、最大高さ R_{max} が0.01~5nm、標準偏差粗さ R_{rms} が0.001~0.55nmである請求項1に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記トンネル多層膜側の下地層の表面は、ガスクラスターイオンビーム法によって平滑化処理されてなる請求項1または請求項2に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 前記ガスクラスターイオンビーム法に用いるガスが、アルゴン、ネオン、キセノン、クリプトン、ヘリウム、水素やこれらの混合ガスである請求項3に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記ガスクラスターイオンビーム法における平滑化処理は、加速電圧10~20keVにて 10^{11} ~ 10^{17} Doseの照射量で行なわれる請求項4に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記下地層が、W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Ptである請求項1ないし請求項5のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 前記トンネル磁気抵抗効果素子は、下地層の上に、強磁性フリー層、トンネルバリア層、強磁性ピン層、強磁性ピン層の磁化をピン止めするためのピン止め層を順次備えてなる形態を有する請求項1ないし請求項6のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 前記トンネル磁気抵抗効果素子は、下地層の上に、強磁性ピン層の磁化をピン止めするためのピン止め層、強磁性ピン層、トンネルバリア層、強磁性フリー層を順次備えてなる形態を有する請求項1ないし請求項6のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 前記強磁性フリー層は、その長手方向両端部にそれぞれ配置されたバイアス付与手段によって、強磁性フリー層の長手方向にバイアス磁界が印加される請求項1ないし請求項8のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 前記強磁性フリー層は、合成フェリ磁石(synthetic ferrimagnet)である請求項1ないし請求

項9のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 前記強磁性ピン層は、合成フェリ磁石(synthetic ferrimagnet)である請求項1ないし請求項10のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 前記トンネル多層膜は、当該トンネル多層膜を挟むように対向配置された一対の電極と電氣的に接合されてなる請求項1ないし請求項11のいずれかに記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 前記一対の電極を挟むように対向配置された一対のシールド層を備えてなる請求項12に記載のトンネル磁気抵抗効果素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

【0002】本発明は、トンネル磁気抵抗効果素子に関する。強磁性トンネル磁気抵抗効果素子は、磁気記録媒体等の磁界強度を信号として読み取るための磁気抵抗効果膜のうち、特に小さな磁場変化を大きな電気抵抗変化信号として読み取ることができる素子であり、このものは主として、ハードディスクドライブ装置に組み込まれて使用される。

【0003】

【従来の技術】ハードディスク(HDD)の高密度化に伴い、高感度、高出力の磁気ヘッドが要求されてきている。このような要求に対して、強磁性層/トンネルバリア層/強磁性層という多層構造からなる強磁性トンネル磁気抵抗効果素子を利用したトンネル磁気抵抗効果素子が注目されている。

【0004】強磁性トンネル磁気抵抗効果とは、トンネルバリア層を挟む一対の強磁性層間の積層方向に電流を流す場合に、両方の強磁性層間における互いの磁化の相対角度に依存してトンネルバリア層を流れるトンネル電流が変化する現象をいう。

【0005】この場合のトンネルバリア層は、薄い絶縁膜であって、トンネル磁気抵抗効果によりスピンを保存しながら電子が通過できるものである。トンネルバリア層は、一般には10Å前後の薄いAl等の金属を酸化させることにより形成される。

【0006】トンネルバリア層を介して形成される両強磁性層間における互いの磁化の相対角度が小さければトンネル確率は高くなるので、両者間に流れる電流の抵抗は小さくなる。これとは逆に、両強磁性層間における互いの磁化の相対角度が大きければトンネル確率は低くなるので、両者間に流れる電流の抵抗は大きくなる。

【0007】ところで、TMR素子のHDD用ヘッドへの応用を考えた場合、素子の低抵抗化(抵抗を下げる)ことは必須である。その理由は以下の通り。つまり、TMR素子の抵抗は基本的には、下記式(1)で表される。

【0008】

$$R_s = C_s \exp(2 \kappa d) \quad \text{式 (1)}$$

$$[0009] \kappa = (2m\phi/h^2)^{1/2}$$

[0010] ここで、 d は障壁（バリア層）の厚さ、 ϕ はフェルミ準位から測った障壁ポテンシャルの高さである。 C_s は磁性層と絶縁層の電子状態で決まる量であり、近似的に二つの磁性層のフェルミ準位の積に比例すると考えて良い。

[0011] 上記式(1)に従うと、素子の低抵抗化を図るためには障壁（バリア層）の厚さ d を小さくすれば良いことが分かる。素子抵抗を小さくすることにより、大きな電流を流すことが可能となり、その結果、大きな出力電圧を取り出すことが可能となるからである。また、静電破壊（Electro-Static Discharges）防止の観点からも、素子が低抵抗であることは望ましい。

[0012] しかしながら、障壁（バリア層）の厚さ d を小さくしようとすればするほど、バリア層表面状態は極めてよい平滑性が要求されるものと考えられる。膜厚が薄いにもかかわらず平滑性が乏しい場合には、障壁（バリア層）の一部にピンホールが発生し易くなり、ピンホール箇所から電流リークが生じるおそれがある。電流リークが生じた場合には、高出力が得られなくなってしまう。さらにその電流リークの程度が大きい場合には出力が全く得られなくなる場合もある。

[0013] 障壁（バリア層）の平滑化の手法の一つとして、障壁（バリア層）を形成する前、下方に存在する層の平滑化処理を図ることが考えられる。しかしながら、従来公知の平坦化技術である、アルミナ砥粒やコロイダルシリカを砥粒として含ませた研磨液を用いての研磨方法では、数Åオーダまでの平滑性は期待できず、素子の特性向上には直接結びつかないのが現状である。さらに、電極やピン止め層（反強磁性層）の腐食の問題もあり好ましくない。

[0014]

【発明が解決しようとする課題】本発明はこのような実状のものに創案されたものであって、その目的は、トンネル磁気抵抗効果素子の良好な特性、特に、TMR変化率が大きく、ヘッド出力の向上が図られるトンネル磁気抵抗効果素子を提供することにある。

[0015]

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、下地層の上にトンネル多層膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子であって、前記トンネル多層膜は、トンネルバリア層と、トンネルバリア層を挟むようにして形成された強磁性フリー層と強磁性ビンド層を有し、前記下地層は、トンネル多層膜側の下地層の表面における表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さ R_a が0.5nm以下、最大高さ R_{max} が5nm以下、標準偏差粗さ R_{rms} が0.55nm以下となるように構成される。

[0016] また、本発明の好ましい態様として、前記

トンネルバリア層表面の表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さ R_a が0.001~0.5nm、最大高さ R_{max} が0.01~5nm、標準偏差粗さ R_{rms} が0.001~0.55nmとなるように構成される。

[0017] また、本発明の好ましい態様として、前記トンネル多層膜側の下地層の表面は、ガスクラスターイオンビーム法によって平滑化処理されてなるように構成される。

[0018] また、本発明の好ましい態様として、前記ガスクラスターイオンビーム法に用いるガスが、アルゴン、ネオン、キセノン、クリプトン、ヘリウム、水素やこれらの混合ガスであるように構成される。

[0019] また、本発明の好ましい態様として、前記ガスクラスターイオンビーム法における平滑化処理は、加速電圧10~20keVにて 10^{15} ~ 10^{17} Doseの照射量で行なわれるように構成される。

[0020] また、本発明の好ましい態様として、前記下地層が、W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Ptであるように構成される。

[0021] また、本発明の好ましい態様として、前記トンネル磁気抵抗効果素子は、下地層の上に、強磁性フリー層、トンネルバリア層、強磁性ビンド層、強磁性ビンド層の磁化をピン止めするためのピン止め層を順次備えてなる形態を有するように構成される。

[0022] また、本発明の好ましい態様として、前記トンネル磁気抵抗効果素子は、下地層の上に、強磁性ビンド層の磁化をピン止めするためのピン止め層、強磁性ビンド層、トンネルバリア層、強磁性フリー層を順次備えてなる形態を有するように構成される。

[0023] また、本発明の好ましい態様として、前記強磁性フリー層は、その長手方向両端部にそれぞれ配置されたバイアス付与手段によって、強磁性フリー層の長手方向にバイアス磁界が印加されるように構成される。

[0024] また、本発明の好ましい態様として、前記強磁性フリー層は、合成フェリ磁石(synthetic ferrimagnet)であるように構成される。

[0025] また、本発明の好ましい態様として、前記強磁性ビンド層は、合成フェリ磁石(synthetic ferrimagnet)であるように構成される。

[0026] また、本発明の好ましい態様として、前記トンネル多層膜は、当該トンネル多層膜を挟むように対向配置された一対の電極と電氣的に接合されてなるように構成される。

[0027] また、本発明の好ましい態様として、前記一対の電極を挟むように対向配置された一対のシールド層を備えてなるように構成される。

[0028]

【発明の実施の形態】以下、本発明のトンネル磁気抵抗効果素子1（以下、単に「TMR素子」と称す）につい

10

20

30

40

50

て詳細に説明する。

【0029】図1は、本発明のTMR素子1の好適な一例を示す断面図である。この実施の形態において、TMR素子1は、スピントネル磁気抵抗効果を示すトンネル多層膜3を備えている。すなわち、トンネル多層膜3は、トンネルバリア層30と、トンネルバリア層30を挟むようにして形成された強磁性層フリー層20と強磁性層ビンド層40が積層された多層膜構造を有している。

【0030】このようなトンネル多層膜3の構造において、さらに前記強磁性フリー層20と強磁性ビンド層40の外部方向にはそれぞれ、トンネル多層膜3の厚さ方向（ α ）方向に電流を流すための一対の電極71および電極75が直接または間接に積層され、トンネル多層膜3と一対の電極71、電極75は電氣的に接続される。

【0031】前記強磁性フリー層20は、磁気情報である外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変えられるようないわゆるフリー層として機能する。また、前記強磁性ビンド層40は、当該強磁性層40の磁化の向きが一定方向に固定された磁化固定層として機能する。強磁性層40の磁化を固定する（交換結合する）ためのピン止め層50が強磁性層40に接した状態で形成される。

【0032】さらに、図1の実施の形態では、図面の下側に位置する電極71と強磁性フリー層20との間には、下地層8が介在されている。つまり、図1に示される実施の形態では、基板5の上に、電極71、下地層8、強磁性フリー層20、トンネルバリア層30、強磁性ビンド層40、ピン止め層50、電極75が順次形成された形態をとっている。

【0033】本発明における第1の特徴は、前記下地層8の表面粗さの設定にある。すなわち、下地層8のトンネル多層膜3に近い側の表面8aにおいて、表面粗さの状態を示す3つの指標である、（1）中心線平均粗さ R_a 、（2）最大高さ R_{max} 、および（3）標準偏差粗さ R_{rms} がそれぞれ、下記条件を満たすように設定される。すなわち、（1）中心線平均粗さ R_a に関して言えば、 R_a 値が0.5nm以下、特に0.001~0.5nm、より好ましくは0.001~0.3nm、さらに好ましくは0.001~0.2nmとされる。この R_a 値の下限値は、できるだけゼロに近づけることが望ましいが、現在の平滑化の技術レベルや平滑化に要する経済性を考慮すると下限値は0.001nm程度とされる。中心線平均粗さ R_a は、JIS B 0601で定義される。より詳細には、表面の粗さ曲線からその中心線

の方向に測定長さ L の部分を抜き取り、この抜き取り部分の中心線をX軸、縦倍率の方向をY軸とし、粗さ曲線を $y=f(x)$ で表したとき、下記式（1）によって求められる値である。

【0034】

【式1】

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad \dots \text{式(1)}$$

【0035】（2）最大高さ R_{max} に関して言えば、 R_{max} 値が5nm以下、特に0.01~5nm、より好ましくは0.01~3nm、さらに好ましくは0.01~2nmとされる。この R_{max} 値の下限値は、できるだけゼロに近づけることが望ましいが、現在の平滑化の技術レベルや平滑化に要する経済性を考慮すると下限値は0.01nm程度とされる。最大高さ R_{max} は、JIS B 0601で定義される。より詳細には、断面形状の中心線に対しての最高値と最低値の差で表される。

【0036】（3）標準偏差粗さ R_{rms} に関して言えば、 R_{rms} 値が0.55nm以下、特に、0.001~0.55 μ m、より好ましくは0.001~0.35nm、さらに好ましくは0.001~0.2nmとされる。この R_{rms} 値の下限値は、できるだけゼロに近づけることが望ましいが、現在の平滑化の技術レベルや平滑化に要する経済性を考慮すると下限値は0.001nm程度とされる。標準偏差粗さ R_{rms} は、より詳細には、全データのZ値の標準偏差であり、下記式（2）で表される。Z値は中心線に対しての最高値と最低値の差を表す。

【0037】

【式2】

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_{ave})^2}{N}} \quad \dots \text{式(2)}$$

【0038】式（2）中、Nはデータのポイント数、 Z_i は各データポイントのZ値（Z値は中心線に対しての最高値と最低値の差）、 Z_{ave} は、全Z値の平均値を表す。

【0039】本発明において、上記の下地層8の表面の R_a 値が0.5nmを超えたり、 R_{max} 値が5nmを超えたり、 R_{rms} 値が0.55nmを超えたりすると、トンネルバリア層の接合部において電氣的なリーク電流が生じ易くなり、その結果、実質的なTMR変化率が大きく減少するとともに、ヘッド出力が大きく減少してしまう。3つのパラメータの中では特に R_{max} 値が重要である。実際の素子の大きさは非常に小さく、測定長さが十分に取れないケースもあり、このような場合であっても R_{max} 値は、直接、特性に影響を及ぼす表面の凹凸の差を最も適切に表現している値であるからである。

【0040】このような下地層8の表面8aは、ガスクラスターイオンビーム法によって平滑化処理される。ガスクラスターイオンビーム法とは、1~5kg程度に加圧したガスを 10^{-4} ~ 10^{-1} Torr程度に減圧したチャンバに吹き出すことにより断熱膨張によって生じる 10^1 ~ 10^6 個のガスクラスターをイオン化し、加速電極に

よって所定の電圧にて加速し、所定のガスクラスターの数量（（ドーズ量） $10^1 \sim 10^6$ ）を処理すべきウエーハ上に入射させる方法である。このとき、クラスターと基板との凹凸との衝突によって、出っ張っている凸部分のみ削られるという状況が生じ、結果的に平坦化処理の効果が得られる。

【0041】ガスクラスターイオンビーム法で用いられるガスとしては、アルゴン、キセノン、クリプトン、ネオン、水素、ヘリウムや、これらの混合ガス等が挙げられる。なかでも、経済性という観点からアルゴン、クリプトン、キセノンを用いるのがよい。

【0042】また、ガスクラスターイオンビーム法における操作条件として、クラスターを下地層8の表面に衝突させるための推進力となる加速電圧は、 $10 \sim 20 \text{ keV}$ 、特に、 $12 \sim 18 \text{ keV}$ が好ましい。総照射量(dose量)は、 $10^{11} \sim 10^{17}$ 、特に、 $10^{11} \sim 10^{16}$ が好ましい。

【0043】本発明における下地層8は、W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Pt, Pd, Au, Ag, Cu等の材料から薄膜形成され、その厚さは、 $50 \sim 800 \text{ \AA}$ 程度に設定される。

【0044】なお、従来公知の平坦化技術である、アルミナ砥粒やコロイダルシリカを砥粒として含ませた研磨液を用いての研磨方法では、本発明の範囲内の下地層の表面状態を形成することはできない。

【0045】前記強磁性フリー層20および強磁性ピン層40を構成する材質は、高いTMR変化量が得られるように高スピン分極材料が好ましく、例えば、Fe, Co, Ni, FeCo, NiFe, CoZrNb, FeCoNi等が用いられる。また、いわゆるフリー層として機能する強磁性フリー層20の膜厚は、 $20 \sim 200 \text{ \AA}$ 、好ましくは $40 \sim 100 \text{ \AA}$ とされる。膜厚が厚くなりすぎると、ヘッド動作時の出力が低下する傾向があり、また、膜厚が薄くなりすぎると、磁気特性が不安定となりヘッド動作時のノイズが増大するという不都合が生じる。また、いわゆる磁化固定層（強磁性ピン層）として機能する強磁性ピン層40の膜厚は、 $10 \sim 50 \text{ \AA}$ 、好ましくは $20 \sim 30 \text{ \AA}$ とされる。膜厚が厚くなりすぎると、後述するような反強磁性体による磁化のピンニングが弱まり、また、膜厚が薄くなりすぎると、TMR変化率が減少する傾向が生じる。

【0046】このような強磁性フリー層20および強磁性ピン層40は、単層に限定されることはなく、反強磁性型磁気結合をしている一対の磁性層と、その間に挟まれた非磁性金属層の組み合わせからなる積層体も、特に好ましい態様の一つである。このような積層体としては、例えば、CoFe（厚さ 30 \AA ）／Ru（厚さ 7 \AA ）／CoFe（厚さ 20 \AA ）の3層積層体からなる強磁性層が挙げられる。

【0047】さらに強磁性フリー層は、NiFe／Co

Fe等の多層構造をとってもよい。

【0048】2つの強磁性層20、40によって挟まれるトンネルバリア層30は、 Al_2O_3 、NiO、GdO、MgO、 Ta_2O_5 、 MoO_3 、 TiO_2 、 WO_3 等から構成される。トンネルバリア層30の厚さは、素子の低抵抗化のためできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流がながれてしまい好ましくない。一般には、 $5 \sim 20 \text{ \AA}$ 程度とされる。

【0049】また、本発明において、前記強磁性ピン層40の磁化をピン止めするピン止め層50は、そのピン止め機能を果たすものであれば、特に限定されないが、通常、反強磁性材料が用いられる。厚さは、通常、 $60 \sim 300 \text{ \AA}$ 程度とされる。

【0050】電極71、75としては、W, Ta, Rh, Ti, Cr, Mo, Zr, Hf, Pt, Pd, Au, Ag, Cu等の導電体材料が用いられる。電極71、75の外側両端にはそれぞれパーマロイ等からなる（磁気）シールド層を設けてもよい。また、図1に示される実施形態はピン止め層50がトップに位置するタイプを例示しているが、もちろんピン止め層50がボトムに位置するタイプであってもよい。このボトムタイプの積層状態は図示していないが、基板5の上に、電極71、下地層8、ピン止め層50、強磁性ピン層40、トンネルバリア層30、強磁性フリー層20、電極75を順次有する形態をとることになる。

【0051】図2には図1の変形例が示される。図2において、下地層8の下と、ピン止め層50の上にはそれぞれギャップ層101とギャップ層105が形成され、これらの外方両端には電極—シールド兼用層（common lead and shield layer）91、95が形成されている。電極—シールド兼用層（common lead and shield layer）91、95は、NiFe（パーマロイ）、センダスト、CoFe、CoFeNi等から構成される。ギャップ層101、105は、Cu、Al、Au、Ta, Rh, Cr, In, Ir, Mg, Ru, W, Znあるいはこれらとの合金から構成される。ギャップ層は、特に、シールド—シールド間距離の調整およびTMR多層膜位置の調整という機能を果たす。

【0052】このような本発明のトンネル磁気抵抗効果素子をトンネル磁気抵抗効果型ヘッド2（以下、単に「TMRヘッド2」と称す）の好適な一例として発展させた実施形態が図3に示される。TMRヘッド2も本発明でいうトンネル磁気抵抗効果素子の概念に含まれ、本発明のクレームの技術的範囲に含まれる。

【0053】図3は、本発明のTMRヘッド2の好適な一例を示す断面図である。この断面図は磁気情報である外部磁場を発する磁気記録媒体と実質的に対向するように配置される面に相当する。この面は、いわゆるABS（Air Bearing Surface）と呼ばれる。

【0054】この実施の形態において、TMRヘッド2は、スピントネル磁気抵抗効果を示すトンネル多層膜3を備えている。すなわち、トンネル多層膜3は、トンネルバリア層30と、トンネルバリア層30を挟むようにして形成された強磁性フリー層20と強磁性ビンド層40が積層された多層膜構造を有している。前述したように強磁性フリー層20は、基本的に磁気情報である外部磁場に応答して自由(フリー)に磁化の向きが変えられるように作用する。また、強磁性ビンド層40は、その磁化方向が、すべて一定方向を向くようにピン止めされている(図3の場合ピン止めされる磁化の方向は紙面の奥行き方向)。そのため、通常、図3に示されるように強磁性ビンド層40の磁化をピンニングするためのピン止め層50が、前記強磁性ビンド層40のトンネルバリア層30と接する側と反対の面に積層される。

【0055】図3に示される実施形態において、前記トンネル多層膜3の積層方向の両側には、トンネル多層膜3にセンス電流をながすための電極と磁気シールドの両方の機能を果たす、電極-シールド兼用層(common lead and shield layer)91,95が、それぞれ、電氣的に接合(electrical contact)されている。前述したように電極-シールド兼用層(common lead and shield layer)91,95を用いることにより、リードギャップは大幅に縮小でき、さらに、トンネル多層膜中の不均一な電流の流れを防止することができる。

【0056】このような電極-シールド兼用層(common lead and shield layer)91,95にセンス用の電流が流され、これらの層91,95に電氣的に接合されているトンネル多層膜3の積層方向にセンス電流が流れるようになっている。

【0057】このような電極-シールド兼用層91,95は、直接、トンネル多層膜3と接触するように形成されてもよいし、あるいは図3の実施の形態に示されるように、非磁性かつ導電性のあるギャップ層101,105を、それぞれ介して電極-シールド兼用層91,95とトンネル多層膜3とを電氣的に接合するようにしてもよい。

【0058】前記ギャップ層101,105は、前述したように、特に、シールド-シールド間距離の調整およびTMR多層膜位置の調整という機能や、トンネル電流が不均一になるのを防止するという機能を果たす。これらは通常、図示のごとく一層から形成されることが好ましいが、上記の材質の中から選定された複数の材質の積層体とすることもできる。このようなギャップ層101,105の膜厚は、50~700Å程度とされる。

【0059】本発明におけるトンネル多層膜3は、下地層8を介して形成される。その下地層8の表面8aの表面粗さは、上述した範囲内に設定されることは言うまでもない。さらに、本発明におけるトンネル多層膜3は、図3に示されるような仕様に基づいて構成されることが

好ましい。すなわち、トンネル多層膜3の一部を構成する強磁性フリー層20は、図3に示されるようにその長手方向(紙面の左右方向)両端部にそれぞれ積層され接続配置されたバイアス付与手段61,61によって、強磁性フリー層の長手方向にバイアス磁界(例えば矢印($\alpha 1$)方向)が印加されるようになっている。

【0060】当該強磁性フリー層20の長手方向(バイアス磁界印加方向と実質的に同じ)の長さ L_f は、前記強磁性ビンド層40の長手方向長さ L_b よりも大きく設定される。強磁性フリー層20は、その長さ L_f が強磁性ビンド層40の長さ L_b よりも長い分だけ、その両端部に、強磁性ビンド層40の長手方向両端部位置(ラインhの引き出し線で表示される)よりもさらに延長された拡張部位20aをそれぞれ備えるように配置される。この拡張部位20aは、その長さが L_{fa} で表示され、強磁性フリー層20の一部分を占めている。つまり、拡張部位20aは強磁性ビンド層40端部からのみ出し長さ部分と同義である。

【0061】強磁性フリー層20の長手方向の長さ L_f は、0.5~20 μm 程度とされる。また、強磁性ビンド層40の長手方向長さ L_b との関係で規定される強磁性ビンド層40の拡張部位20aの長さ L_{fb} は、0.1~5 μm 程度とされる。

【0062】このような強磁性フリー層20の両端の拡張部位21に、バイアス付与手段61,61が積層状態で接続される。バイアス付与手段61,61が積層された部分は、拡張部位20aと交換結合され、磁化方向は矢印($\alpha 1$)方向に固着される。バイアス付与手段61,61は、それぞれ、図3に示されるように前記強磁性ビンド層40の長手方向両端部からそれぞれ一定のスペースDを確保して形成されている。

【0063】このような一定のスペースDは、ヘッドの設計仕様を決定する際に、TMR変化率特性を実質的に低下させないようにするために所定範囲に定めることが望ましい。具体的数値は、ヘッド仕様、例えば、用いる構成部材の材質や、寸法設定等により適宜設定することが望ましい。特に、より好ましい態様として実験的に見出された数値を挙げるならば、前記一定のスペースDは、0.02 μm 以上、特に、0.02 μm 以上0.3 μm 以下の範囲、さらには0.02 μm 以上0.15 μm 未満の範囲とすることが好ましい。このDの値が、0.02 μm 未満となると、TMR変化率が低下する傾向にある。この一方で、このD値が大きくなり過ぎて、0.3 μm を超えると、有効トラック幅が広がってしまい高記録密度化への将来の要求に合致しなくなる傾向が生じる。有効トラック幅を特に重点的に考慮すると、D値は0.02 μm 以上0.15 μm 未満の範囲(0.15 μm を含まない)とすることが好ましい。

【0064】図3に例示されたTMRヘッド2全体の構成、特に上述していない部材を中心にして簡単に説明し

10

20

30

40

50

ておくと、本実施の形態においては、TMR多層膜の両端部外方には、図示のごとく例えばアルミナからなる絶縁層111、111および絶縁層112、112が形成される。これにより、バイアス付与手段61、61とトンネルバリア層30の絶縁などが確実に行なわれるようになっている。

【0065】強磁性トンネル磁気抵抗効果について簡単に説明しておく。強磁性トンネル磁気抵抗効果とは、トンネルバリア層30を挟む一対の強磁性層20、40間の積層方向に電流を流す場合に、両方の強磁性層20、40間における互いの磁化の相対角度に依存してトンネルバリア層を流れるトンネル電流が変化する現象をいう。この場合のトンネルバリア層30は、薄い絶縁膜であって、トンネル磁気抵抗効果によりスピンを保存しながら電子が通過できるものである。両強磁性層20、40間における互いの磁化が平行である場合（あるいは互いの磁化の相対角度が小さい場合）、電子のトンネル確率は高くなるので、両者間に流れる電流の抵抗は小さくなる。これとは逆に、両強磁性層20、40間における互いの磁化が反平行である場合（あるいは互いの磁化の相対角度が大きい場合）、電子のトンネル確率は低くなるので、両者間に流れる電流の抵抗は大きくなる。このような磁化の相対角度の変化に基づく抵抗変化を利用して、例えば外部磁場の検出動作が行われる。

【0066】

【実施例】上述してきたトンネル磁気抵抗効果素子（TMR素子）に関する発明を、以下に示す具体的実施例によりさらに詳細に説明する。

【0067】（実験例Ⅰ）

【0068】下記に示すようなトンネル磁気抵抗効果素子サンプルを作製した。すなわち、基板5（Al₂O₃、付きのAlTiC）の上に、厚さ22μmのNiFe電極-シールド兼用層（common lead and shield layer）91、ギャップ層101（Rh；厚さ500Å）、下地層8（Ta；厚さ100Å）、いわゆるフリー層として機能する強磁性層20（NiFe層（厚さ30Å）とCoFe（厚さ30Å）の積層体）、トンネルバリア層30（酸化アルミニウム；厚さ10Å）、磁化方向が検出・磁界方向に固定されたいわゆるピンニングされた強磁性*

$$\text{TMR変化率}(\%) = (R_{\max} - R_{\min}) / R_{\min} \times 100 \quad \cdots \text{式(1)}$$

【0076】結果を下記表1に示した。

【0077】

*層40（CoFe；厚さ30Å）、強磁性層40の磁化をピンニングするためのピン止め層50（PtMn；厚さ300Å）、ギャップ層105（Rh；厚さ200Å）、厚さ50μmのNiFe電極-シールド兼用層（common lead and shield layer）95を順次、薄膜積層してサンプルを作製した。完成した素子サイズは1μm×1μmの大きさとした。

【0069】なお、下地層8の形成に際しては、下地層8を形成した後にその表面8aをガスクラスターイオンビーム法により平滑化処理した。ガスクラスターイオンビーム法の操作条件および表面8aの表面粗さは下記表1に示されるように種々変えて、種々のサンプルを作製した。なお、下地層8の上方に位置するトンネル多層膜の膜仕様および成膜条件は全てのサンプルで同一とした。

【0070】また、下地層8の表面8aの表面粗さを測定するに際しては、積層状態が分かるようにサンプルを積層方向に切断し、具体的に、高分解能透過電子顕微鏡（TEM）や走査型2次電子顕微鏡（S-TEM）を用いて測定した。測定範囲は表面粗さ測定用の専用パターンを形成し、10μm×10μmとした。

【0071】なお、実際のTMR素子の大きさは、（0.15μm×0.15μm）～（1μm×1μm）程度の大きさのものが一般的である。これらの素子においても、Ra、Rmax、およびRrmsが本発明のクレーム範囲内にあることが必須である。一般には測定範囲が広くなると粗さの諸量は大きくなっていく傾向がある。

【0072】下記表1に示される種々の実験用TMR素子サンプルを用いて、下記の要領でTMR変化率（%）を求めた。

【0073】TMR変化率（%）

【0074】サンプルに印加される電圧がゼロ磁界で50mV程度となるように定電流を流し、±900（Oe）の磁界を印加した時の電圧の最小値から最小抵抗値Rminを求め、また、電圧の最大値から最大抵抗値Rmaxを求め、以下の算出式（1）からTMR変化率（%）を求めた。

【0075】

【表1】

13
表 1

14

サンプル No.	ガラス-イオン-ミ		下地層表面粗さ			TMR 変化率 (%)
	加速電圧 (keV)	総照射量	Ra (nm)	Rmax (nm)	Rrms (nm)	
1	10	10 ¹⁵	0.25	1.6	0.27	26.5
2	12	10 ¹⁵	0.18	1.2	0.20	30.2
3	15	10 ¹⁵	0.12	0.9	0.15	34.6
4	18	10 ¹⁵	0.17	1.5	0.19	31.4
5	20	10 ¹⁵	0.29	2.9	0.35	27.3
6	15	5×10 ¹⁵	0.08	0.6	0.10	38.9
7	15	10 ¹⁶	0.09	0.7	0.12	37.0
8	15	5×10 ¹⁶	0.13	1.2	0.16	33.6
9	12	5×10 ¹⁵	0.10	0.9	0.13	36.2
10	18	5×10 ¹⁵	0.13	1.4	0.19	33.4
11 (比較)	25	5×10 ¹⁵	0.52	4.9	0.48	16.6
12 (比較)	30	10 ¹⁵	0.49	6.5	0.30	12.1
13 (比較)	25	10 ¹⁶	0.48	4.7	0.58	15.8
14 (比較)	25	10 ¹⁷	0.69	7.9	0.46	8.2
15 (比較)	—	—	1.25	10.2	1.39	0.3

【0078】表1に示される結果より、TMR変化率を向上させるためには、表面粗さの状態を示す3つのパラメータ全てが本発明の範囲を満たさなければならないことがわかる。

【0079】

【発明の効果】上記の結果より本発明の効果は明らかである。すなわち、本発明は、下地層の上にトンネル多層膜を有するトンネル磁気抵抗効果素子であって、前記トンネル多層膜は、トンネルバリア層と、トンネルバリア層を挟むようにして形成された強磁性フリー層と強磁性ビンド層を有し、前記下地層は、トンネル多層膜側の下地層の表面における表面粗さの状態を示す3つの指標である、中心線平均粗さRaが0.5nm以下、最大高さRmaxが5nm以下、標準偏差粗さRrmsが0.55nm以下であるように構成されているので、TMR変化率が大きくなり、大きなヘッド出力が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の好適な一例を示す断面図である。

【図2】図2は、本発明の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子の他の好適な一例を示す断面図である。

【図3】図3は、本発明の強磁性トンネル磁気抵抗効果素子をトンネル磁気抵抗効果型ヘッドに発展させた場合の一例を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1…トンネル磁気抵抗効果素子
- 3…トンネル多層膜
- 5…基板
- 8…下地層
- 20…強磁性フリー層
- 30…トンネルバリア層
- 40…強磁性ビンド層
- 71, 75…電極(層)

(9)

特開2001-36165

【図1】

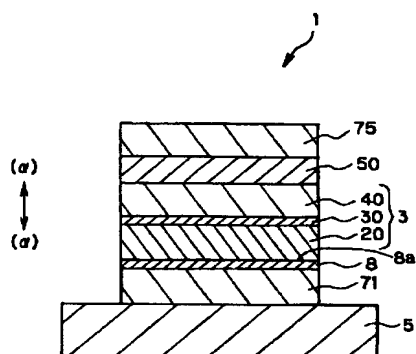


FIG.1

【図2】

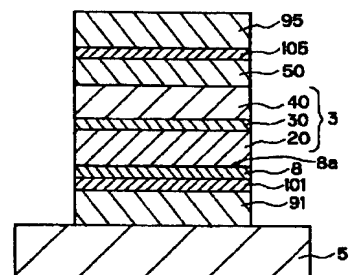


FIG.2

【図3】

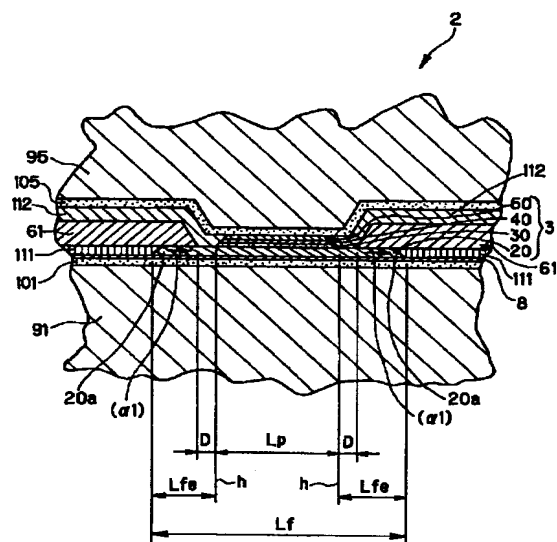


FIG.3